



CIRAD/UR Systèmes de Culture Annuels

Rapport de mission au Togo

**Appui à la mise en place d'un programme de
thèse sur la fertilité des zones cotonnières du
Togo**

Mission du 11 au 17 août 2008

Hervé GUIBERT
CIRAD PERSYST
UR Systèmes de Culture Annuels
Septembre 2008

Mission d'appui au Programme Coton du CRA-SH

Appui à la mise en place d'un programme de thèse sur la fertilité des zones cotonnières du Togo

Hervé GUIBERT du 11 au 17 août 2008



Figure 1 : Point d'appui de La Fosse aux Lions rétrocédé aux producteurs depuis 2007. On peut encore facilement retrouver les anciens blocs et leurs délimitations par des allées.

Remerciements

Mes remerciements vont à Monsieur BONFOH, Directeur du CRA_SH, qui a facilité la mission en fournissant entre-autres son véhicule à partir de la station de Kolokopé pour la tournée sur Dapaong et Monsieur TCHAGODOMOU, Chef du Programme Coton, qui a accompagné la mission jusqu'à Dapaong et dont le concours a été précieux pour permettre les prélèvements de sols sur des anciens points d'appuis, maintenant rétrocédés aux producteurs. Mes remerciements vont également à l'Ambassade de France qui a financé la mission, à travers MM. BOUCHER, Chef du SCAC et YARD, Conseiller Adjoint, ainsi que Mesdames BEAUMADIER et CONNOLLY pour leur aide à la mise en route de la mission.

SOMMAIRE

Remerciements	2
A – Objectifs de la mission	4
B – Réalisations antérieures	4
C – Rapport d’activités de la mission.....	5
1°) Travail de terrain pour le DEA.....	5
2°) Travail de terrain pour la thèse.....	5
3°) Calendrier du DEA et de la première année de thèse.....	6
4°) Appuis aux dépouillement et à rédaction du mémoire du DEA.....	6
D – Contenu scientifique du mémoire de DEA.....	7
1°) Paramétrage du modèle de Hénin-Dupuis.....	7
2°) Paramétrage du modèle de Mary.....	9
3°) Paramétrage du modèle de Rothamsted	9
E – Conclusions.....	12
ANNEXES	14
ANNEXE 1 : calendrier de la mission et personnes rencontrées	15
ANNEXE II : objectifs de la thèse envisagée	16
ANNEXE III : Résultats d’analyses de sols des essais systèmes d’Elavagnon et soustractifs de Dalanda.....	19
ANNEXE IV : détermination des densités de sol des essais systèmes d’Elavagnon et soustractif de Dalanda	22
ANNEXE V : données météorologiques du Bénin années 2000-2002	23

A – Objectifs de la mission

La mission avait pour objectif de préparer le stage et la rédaction du mémoire de DEA de l'étudiant suivi par cette opération. Il s'agissait également de préparer son stage en France et de jeter les bases du travail de terrain de la thèse. En particulier, il était programmé pour cette mission :

- une rencontre avec son directeur de thèse pour mise en commun du programme de travail de l'étudiant (DEA, thèse et séjour en France) ;
- l'appui à l'étudiant pour son travail de stage, notamment par rapport aux dépouillements à effectuer et à la rédaction du mémoire ;
- le travail de terrain pour le DEA à finaliser (prises d'échantillons de sols sur les essais prélevés des points d'appuis de Dalanda et Elavagnon permettant de déterminer la densité apparente des sols
- le travail de terrain de la thèse à débiter avec les prélèvements de sols pour analyses à Dapaong (essais jachères de courte durée sur le point d'appui de La Fosse Aux Lions et systèmes de culture de Toaga)

B – Réalisations antérieures

Cette opération a été envisagée suite à une mission de Michel Crétenet à l'ITRA¹ pour élaborer un programme de recherche autour des questions de fertilité des sols et de la fertilisation des cultures en zone cotonnière du Togo. Le SCAC Lomé a souhaité sa réalisation, pour renforcer les collaborations entre l'Université de Lomé et l'ITRA et entre l'ITRA et les autres instituts de recherche de la sous-région afin d'intégrer le Togo dans les projets régionaux. L'ITRA y contribue avec également comme objectif le renouvellement des compétences du Programme National Coton.

Les interventions précédentes² ont permis de préciser les contours de sujet de thèse (voir annexe 2), de sélectionner l'étudiant, d'effectuer son inscription en DEA à l'Université de Lomé (Département de Botanique, Laboratoire de Biologie Végétale Appliquée), d'effectuer le travail de terrain et d'archivage des données nécessaires au DEA. Des contacts ont en outre été pris avec l'Université de Bourgogne (UMR Microbiologie et Géochimie des sols) dans l'optique d'instaurer une cotutelle de thèse. Les analyses de sols prélevés ont été réalisées au laboratoire des sols du Cirad de Montpellier.

Au niveau financier, l'opération ne bénéficie pas d'un projet spécifique. Les frais de missions d'appuis sont financés par le SCAC de Lomé qui octroie à l'étudiant une bourse pour les stages en France et a financé l'achat d'un microordinateur portable. Les missions

¹ M. Crétenet, 2006. Rapport de mission auprès de l'ITRA, CRA_SH - Kolokopé - Togo. Fertilité des sols en zone cotonnière, Mission réalisée du 24 octobre au 2 novembre 2006. SCAC Lomé ; CIRAD, UR Systèmes cotonnier, Montpellier, France. 24p.

² H. Guibert. 2008. Rapport de mission auprès de l'ITRA. Appui à la mise en place d'un programme de thèse sur la fertilité des zones cotonnières du Togo. Missions du 21-23 mai ; 25-29 juin et 31 octobre-07 novembre 2007. CIRAD / UR Systèmes Cotonniers, Montpellier, France. 42p.

d'appui sont l'occasion de bénéficier de la logistique pour le travail de terrain. L'ITRA prend en charge les frais d'inscription de l'étudiant à l'Université et lui sert une indemnité de stage au Togo. Le CIRAD a pu, grâce à des reliquats de budget, prendre en charge les analyses de sols. Les séjours en France de l'étudiant permettront de procéder aux autres analyses de sol nécessaires.

C – Rapport d'activités de la mission

1°) Travail de terrain pour le DEA

Les opérations de terrain du DEA étaient presque achevées. Elles ont consisté au repérage de dispositifs d'essais de longue durée sur lesquels des analyses antérieures de sols étaient disponibles. Une liste d'une quinzaine d'essais potentiels sur la zone cotonnière du Togo pouvant être utilisés dans le cadre de cette recherche a été dressée. Les critères de choix ont été la durée de l'essai, la disponibilité des données de production, la disponibilité de caractérisation antérieure des sols (au moins deux à deux périodes différentes de l'essai). Le dernier critère, à savoir la possibilité de repérage des limites de l'essai, afin de procéder à un nouvel échantillonnage des sols pour une caractérisation finale, s'effectue sur le terrain avec les anciens plans de l'essai et les personnes ressources (chercheurs, chefs de points d'appuis et/ou techniciens ayant conduit l'essai). Pour le DEA, deux essais ont fait l'objet d'une caractérisation de sols : l'essai soustractif du point d'appui de Dalanda et l'essai système du point d'appui d'Elavagnon (voir annexe III).

Il restait à déterminer les densités des sols de ces deux essais (voir annexe IV) pour compléter les données de terrain nécessaires au DEA.

2°) Travail de terrain pour la thèse

Il s'agissait de continuer à valider la liste des essais pouvant faire l'objet de l'étude, mais dont les données ne seront analysées que dans la thèse. A Dapaong, les limites et la disposition des modalités des essais suivants ont pu être repérés :

- Point d'appui de Toaga :
 - essai systèmes
 - essai soustractif
- Point d'essai de La Fosse Aux Lions
 - essai jachère courte
 - essai soustractif

Compte-tenu de la rétrocession des ces points d'appuis aux producteurs, cette délimitation a été difficile et le recours à des personnes ressources, telle l'ancien chef de point d'appui de La Fosse Aux Lions rencontré à Niamtougou, a été nécessaire.

Les prélèvements sur le point d'appui de Toaga a été impossible du fait qu'il s'agit d'un bas fond et qu'il était saturé d'eau en cette période. Par contre, les prélèvements sur l'essai jachère courte de La Fosse Aux Lions ont été réalisés.

L'objectif était d'avoir suffisamment d'échantillons de sols à analyser pendant le prochain séjour en France de l'étudiant. Il n'a été que partiellement atteint et une seconde tournée à Dapaong sera nécessaire pour compléter les prélèvements.

3°) Calendrier du DEA et de la première année de thèse

Des entretiens avec le Directeur de DEA (Prof. K. AKPAGANA) de l'étudiant et le SCAC de Lomé (Y. YARD) ont permis d'entériner le programme suivant :

- soutenance du DEA fin octobre 2008 ;
- séjour à Montpellier, France, à l'UPR 102 (Systèmes de Culture Annuels) du CIRAD du 11 novembre 2008 au 10 janvier 2009 avec un séjour à l'UMR 1229 (Microbiologie et Géochimie des Sols) de l'Université de Bourgogne, Dijon ;
- Inscription en thèse à l'Université de Lomé et à l'Université de Bourgogne en 2008/2009. Thèse en alternance avec trois séjours en France projetés.

Les objectifs scientifiques du séjour en France sont les suivants :

- analyses des échantillons de sols (analyses classiques) prélevés en 2008 ;
- intérêts et méthodes d'analyses des isotopes du carbone des sols et application aux échantillons de sols prélevés en 2007 et 2008 ;
- bibliographie axée notamment sur les différents modèles d'évolution de C et N du sol (STICS, FIELD, CENTURY) et travail avec P. TITTONELL (UR 102) qui a une expérience de ces modèles³ ;
- inscription en cotutelle de thèse à Dijon ;
- publication sur les résultats du DEA.

4°) Appuis aux dépouillement et à rédaction du mémoire du DEA

Un prêt d'un ordinateur portable du CIRAD a été consenti à l'étudiant pour lui permettre de débiter sans tarder son travail de dépouillement et de rédaction jusqu'à ce que l'ITRA puisse acquérir l'ordinateur prévu sur financement du SCAC. Cela a permis d'installer les feuilles de calcul et les logiciels permettant d'appliquer les modèles de Hénin-Dupuis, B. Marie et Rothamsted aux données disponibles sur les sols du Togo. Une abondante bibliographie sur le sujet a également été fournie.

Des explications pour les paramétrages des différents modèles ont été fournis. Il a été discuté du plan du mémoire et de la nécessité de le faire valider par le Directeur de thèse. Les données nécessaires encore à rassembler sont les suivantes :

- données météorologiques nécessaires aux logiciel Rothamsted (pluviométrie, températures et EV bac ou ETP moyennes mensuelles) ;
- données sur les cultures réalisées après l'arrêt des essais étudiés à Elavagnon et Dalanda jusqu'en 2007 ;
- densités apparente des sols à établir pour l'essai système d'Elavagnon ;
- échantillons de sols (2007 et 2008) à préparer (fiche d'importation de sols non européens fournie à remplir).

³ P. Tittonell, S. Zingore, M.T. van Wijk, M. Corbeels & Giller K.E. 2007. Nutrient use efficiencies and crop responses to N, P and manure applications in Zimbabwean soils: Exploring management strategies across soil fertility gradients. *Field Crops Research*, 100 (2007), 348–368.

P. Tittonell, M. Corbeels, M.T. van Wijk, B. Vanlauwe & Giller K.E. 2008. Combining Organic and Mineral Fertilizers for Integrated Soil Fertility Management in Smallholder Farming Systems of Kenya : Explorations Using the Crop-Soil Model FIELD. *Agronomy Journal*, 100 (5), 1-16.

D – Contenu scientifique du mémoire de DEA

La thèse a pour objectif de valider des modèles d'évolution du C et des éléments majeurs nécessaires aux cultures du sol sous culture et pratiques réalisées au Togo. Elle s'appuiera sur les résultats d'expérimentations à long terme conduites sur le bassin cotonnier togolais qu'elle permettra de valoriser. Il est important de noter que ce travail permettra d'archiver des données qui sont en voie de se perdre.

Le DEA a pour objectif de discuter de la méthodologie qui sera utilisée pendant la thèse, à savoir, le paramétrage des modèles d'évolution du C du sol et les bilans minéraux. Cette discussion s'effectuera à travers l'application de ces modèles sur deux exemples (essai systèmes d'Elavagnon et essai soustractif de Dalanda).

Il est donné ici quelques exemples de dépouillement des données sur les données d'Elavagnon, concernant les modèles d'évolution de sol, qui sont les plus difficiles à paramétrer.

En l'absence des données météorologiques du Togo, il a été pris les données du Bénin pour le site de Savé qui se trouve à 75 km environ d'Elavagnon, et à peu près à la même latitude (voir annexes V).

Sur l'essai Systèmes d'Elavagnon, les résultats des teneurs en C du sol sont donnés dans le tableau 1. Seules les parcelles 1, 5, 6 et 10 ont été caractérisées à plus de deux années différentes et seront considérées. Pour passer des teneurs en quantité de carbone, il a été appliqué les valeurs de densité apparente de l'essai de Dalanda (1.37 et 1.4 g.cm⁻³ pour respectivement les profondeurs 0-20 et 20-40 cm). Il conviendra de corriger celles-ci une fois les valeurs de la densité des sols d'Elavagnon déterminées. Cela ne devrait pas changer les données de façon importante et les conclusions à tirer.

1°) Paramétrage du modèle de Hénin-Dupuis

Tableau 1 : Evolution du stock de carbone du sol sur l'essai Système d'Elavagnon (Togo)

Années	Profondeurs	C (t.ha ⁻¹)				
		Parcelle 1	Parcelle 5	Parcelle 6	Parcelle 10	Moyenne 4 parcelles
2007	0-20 cm	6.58	6.59	8.81	6.43	7.10
1985		8.77	7.54	6.30	7.95	7.64
1982		4.66	6.17	6.71	7.12	6.17
1979		7.54	9.45	12.06	10.96	10.00
2007	20-40 cm	5.98	5.35	6.44	8.02	6.45
1985		7.14	8.54	6.30	5.60	6.90
1982		5.32	5.88	6.58	5.32	5.78
1979		6.58	7.98	8.26	6.86	7.42

Les données de l'année 1982 apparaissent non conformes, très en deçà de ceux de l'année 1985. En considérant les résultats des années 1979, 1985 et 2007, les différents modèles sont appliqués.

Les modèle de Hénin peut être paramétré sur les parcelles données dans le tableau 2 en appliquant la feuille de calcul Excel préparée pour déterminer les inconnues A₀, K₁M et K₂. Des solutions sont trouvées dans 4 cas (voir tableau 2)

Tableau 2 : paramétrage du modèle de Hénin-Dupuis sur les parcelles d'Elavagnon (Togo)

Parcelles	Profondeurs	A_0 (T.ha ⁻¹)	$K_1 M$ (T.ha ⁻¹)	K_2
1	0-20 cm	Pas de solution		
5		9.45	1.19	0.18
6		Pas de solution		
10		10.96	1.16	0.18
Moyenne 4 parcelles		10.00	1.97	0.28
1	20-40 cm	Pas de solution		
5				
6				
10				
Moyenne 4 parcelles		7.42	0.79	0.12

Ces quatre cas donnent les évolutions de sol décrite dans la figure 2.

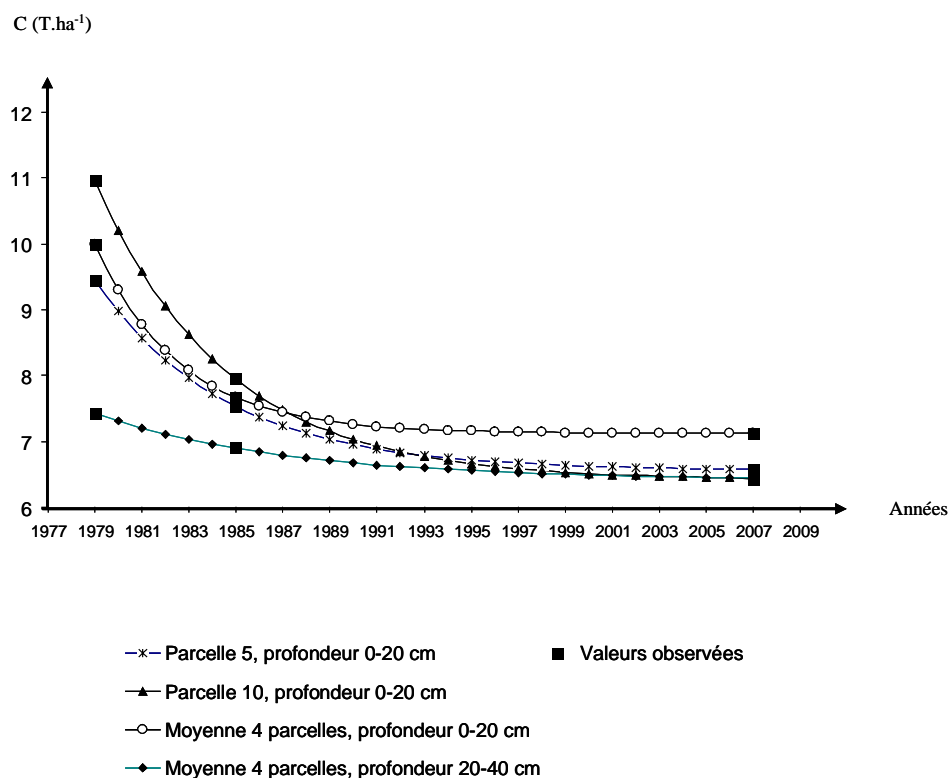


Figure 2 : évolution du carbone des sols simulé et observé pour 4 parcelles et profondeur à Elavagnon (Togo)

Dans ces quatre cas, on remarque que

- les quantités de carbone sont quasi à l'équilibre en 2007 ;
- les coefficients K_2 sont très élevés ;
- les quantités de carbone entrant sont également très élevées (de 1 à 2 T de C ha⁻¹.an⁻¹ pour la profondeur 0-20 cm, soit avec un coefficient K_1 de 0.3, une quantité de biomasse de 7.5 à 12.5 T de MS ha⁻¹.an⁻¹), soit des entrées

correspondant à l'ensemble de la biomasse aérienne restituée et des rendements de l'ordre de 2 à 3 T.ha⁻¹

2°) Paramétrage du modèle de Mary

Le paramétrage du modèle de Mary demanderait à avoir quatre déterminations du C du sol à quatre moments différents. Or nous n'avons à disposition que trois déterminations utilisables. Aussi, il n'est pas exclu que plusieurs solutions soient trouvées pour chaque parcelle et chaque profondeur avec le jeu de données d'Elavagnon.

En général, quand le modèle de Hénin fonctionne, on arrive à trouver au moins un modèle de Mary qui peut être paramétré. Mais il n'est pas exclu de pouvoir trouver un modèle de Mary possible quand le modèle de Hénin ne peut être paramétré. Le système d'équations devenant très compliqué, il faut y aller à tâtons, ce qui prend du temps. Il est présenté ici quelques résultats pour les parcelles 5 et 10 et la moyenne des 4 parcelles pour la profondeur 0-20 cm.

Les paramétrages du modèle de Mary trouvés sont donnés dans le tableau 3.

Tableau 3 : paramétrage du modèle de Mary à Elavagnon (Togo)

Parcelles	Profondeurs	Carbone compartiment stable (T.ha ⁻¹)	Compartiment labile		
			A ₀ (T.ha ⁻¹)	K ₁ M (T.ha ⁻¹)	K ₂
5	0-20 cm	6.44	3.01	0.021	0.12
10		6.30	4.66	0.020	0.18
Moyenne 4 parcelles		7.00	3.01	0.037	0.28

Dans ces cas, on remarque que :

- les quantités de carbone sont pratiquement équivalentes au compartiment stable en 2007 ;
- ce compartiment stable est très élevé et est difficilement explicable en milieu tropical ;
- les coefficients K₂ sont très élevés, mais ils s'appliquent ici à une partie seulement du C du sol ;
- les quantités de carbone entrant sont faibles et correspondraient à des quantités de l'ordre de 200 kg de MS ha⁻¹.an⁻¹, soit des entrées correspondant plutôt à de seules restitutions racinaires⁴

3°) Paramétrage du modèle de Rothamsted

Compte-tenu de la structure du logiciel, on ne peut jouer ici que sur la quantité de biomasse entrante (et sur le rapport RPM/DPM, ce qui revient pratiquement à la même chose).

Seule la quantité de C du sol de la moyenne des 4 parcelles de la profondeur 20-40 cm est correctement simulée par le modèle (voir figure 3).

⁴ Il s'agirait donc de savoir comment étaient traités les résidus de récolte depuis 1979 à Elavagnon

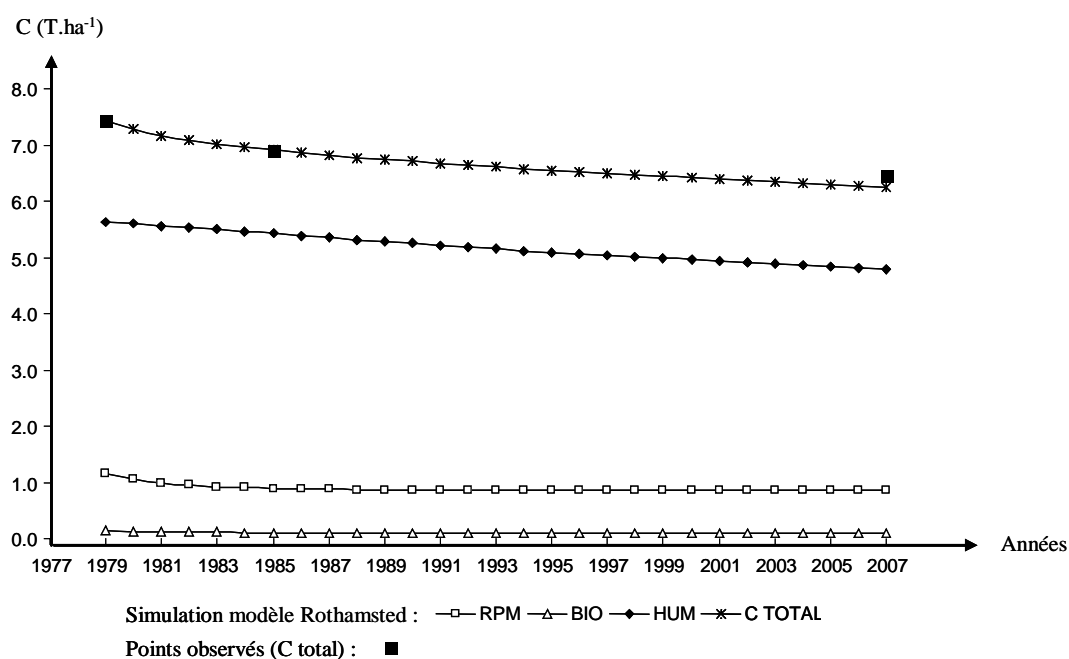


Figure 3 : simulation par le modèle de Rothamsted de l'évolution du carbone de la moyenne des 4 parcelles profondeur 20-40 cm à Elavagnon (Togo).

Les entrées annuelles de C permettant de simuler les données observées s'établissent à 980kg.ha⁻¹. Cette valeur est élevée compte-tenu qu'il s'agit d'une profondeur de 20-40 cm. La simulation montre que le stock de carbone n'est pas encore en 2007 à l'équilibre qui s'établit autour de 4 T.ha⁻¹ de C.

Les simulations pour les autres parcelles et profondeurs sont moins bonnes (voir par exemple la parcelle 10, profondeur 0-20 cm graphe 4). En fait, la courbe du carbone total simulé par le modèle est plus plate que celle simulée par les modèles de Hénin-Dupuis ou de Mary. Les données de Dalanda devraient permettre de meilleure simulation par le modèle.

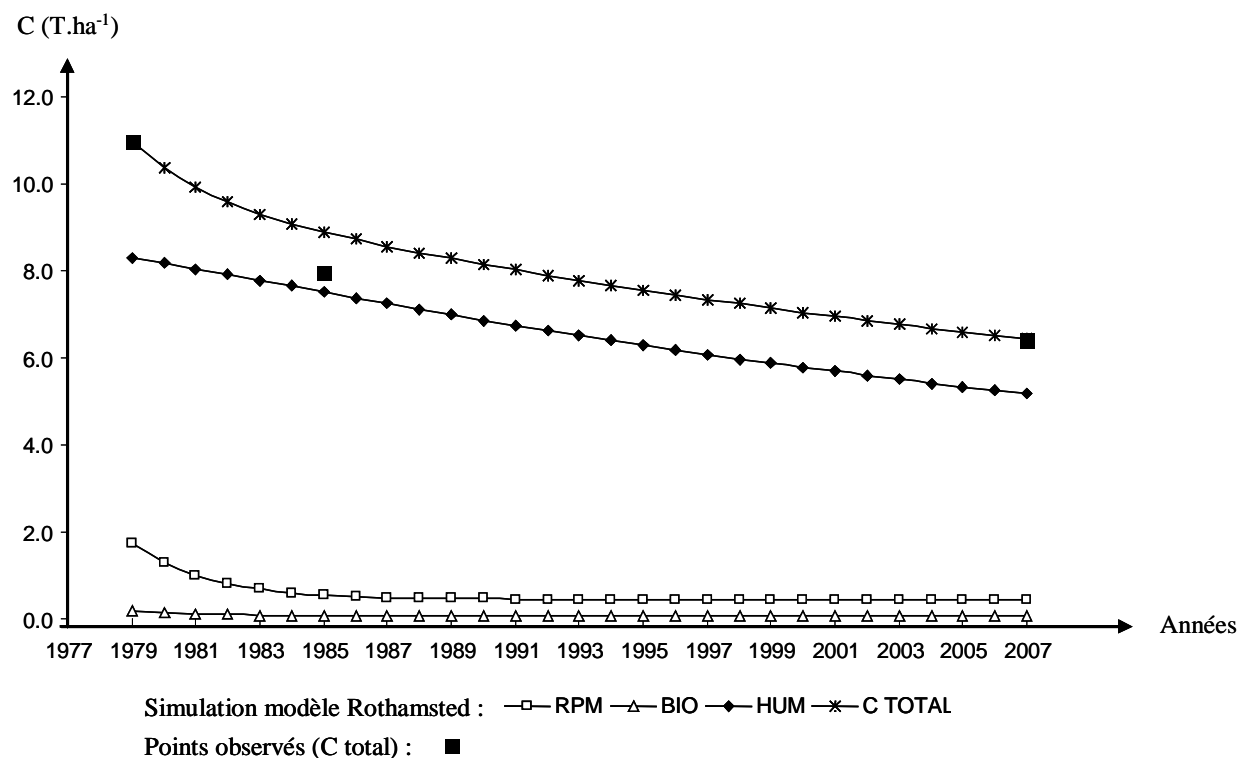


Figure 4 : simulation par le modèle de Rothamsted de l'évolution du carbone de la parcelle 10, profondeur 0-20 cm à Elavagnon (Togo).

Pour faciliter l'utilisation du logiciel, le processus du paramétrage du modèle de Rothamsted sur l'exemple de la moyenne des 4 parcelles de profondeur 20-40 à Elavagnon va être décrit dans le détail :

Etape 1 : création du fichier wheather

Par rapport aux données climatiques explicitées plus haut, le fichier se remplit à partir des données suivantes :

		Température (°C) Pluies (mm) Evaporation (mm)		
Nom du fichier	ELAQ.dat			
		Janvier	28.7	8.0
Dénomination	Elavagnon	Février	30.2	3.6
Argile (%)	6.1	Mars	30.8	69.1
Profondeur (cm)	20	Avril	29.0	111.8
		Mai	28.6	109.4
		Juin	27.4	155.4
		Juillet	26.2	134.3
		Août	25.3	120.6
		Septembre	26.1	149.2
		Octobre	27.3	113.1
		Novembre	29.2	1.8
		Décembre	28.6	0.0
				175.7
				224.7
				228.5
				200.2
				183.5
				136.7
				110.4
				88.7
				100.6
				127.9
				165.8
				181.6

Etape 2 : détermination du point de départ (quantité de carbone du sol en 1979)

Pour se faire, on commence par créer un fichier « landman » qui va permettre à l'équilibre d'arriver à la quantité de carbone total de 1979 (7.42 T.ha^{-1}). On choisit dans ce fichier les mois pendant lesquels la biomasse va retourner au sol ainsi que la couverture du sol. Ici, compte-tenu de ce que peut être la couverture à Elavagnon (adventices et cultures), il a été choisi d'indiquer « fallow » (en fait « bare ») en janvier et février et « covered » le reste de l'année. Puis, on indique une quantité de plant imput quelconque, par exemple 0.1 T.ha^{-1} de janvier à juin, 0 le reste de l'année et 0 en fumier toute l'année. Ce fichier a été nommé ELQ.dat.

Ensuite, on fait tourner le logiciel pour calculer la quantité de biomasse entrante connaissant le niveau de carbone total. On entre :

Weather : ELAQ

Land management : ELQ.dat

Mesured Total carbon : 7.42

DPM/RPM Ratio : 1.44

Year Sampled : 1979

Le logiciel donne les réponses suivantes : Plant inputs per month = 0.2336 de janvier à juin et 0 le reste de l'année et IOM = 0.4804

On crée un autre fichier landman en remplaçant les valeurs du fichier précédent (0.1) par celles précédemment données (0.2336) que l'on nomme par exemple ELM. Les autres valeurs de ce fichier sont les mêmes que celles de ELQ.

Etape 3 : détermination de la biomasse entrante pour approcher les quantités de carbone en 1895 et 2007

On crée un autre fichier « landman » (par exemple EIA.dat) en indiquant des entrées de biomasse plus faibles que celles du fichier ELM (par exemple 0.1 de janvier à juin ; le reste, fumier et biomasse de juillet à décembre sont toujours nuls).

On crée un scénario avec en première étape le fichier Weather ELAQ ; le fichier landman ELM ; en cochant la case « équilibre » et en indiquant pour valeur de IOM celle donnée précédemment soit 0.4804. On ne change pas le ratio RPM/DPM. En seconde étape du scénario, on choisit le fichier landman EIA , case « short term » cochée que l'on fait tourner pendant 28 années à partir de 1980. On lance la simulation du logiciel avec le scénario ainsi créé. On regarde les quantités de carbone total en 1985 et 2007.

On lance ainsi plusieurs simulations en modifiant les quantités de biomasse entrantes du fichier EIA jusqu'à arriver à obtenir des valeurs de C total approchant celles observées en 1985 et 2007.

E – Conclusions

Les données d'Elavagnon permettent de paramétrer les trois modèles choisis. Cela est encourageant, car sur ce seul essai, des conclusions pourront être tirées dans le cadre du

mémoire de DEA. Sur le plan de l'organisation du travail de thèse, le calendrier est établi jusqu'en janvier 2009 et est assez copieux. Il reste pour le DEA quelques données à collecter, mais celles-ci sont assez peu importantes en volume. L'étape prochaine est la validation du plan du mémoire de DEA par les encadrant. Un second appui est nécessaire courant octobre pour valider le travail de rédaction du mémoire et terminer les prélèvements de sols dans le nord (Dapaong). La soutenance est prévue fin octobre pour effectuer le stage en France en position d'inscrit en thèse et favoriser ainsi l'établissement de la cotutelle par l'université de Bourgogne.

ANNEXES

ANNEXE 1 : calendrier de la mission et personnes rencontrées

Dates	Véhicule	Activités/personnes rencontrées
11 août	U 4356 RB	Cotonou-Lomé par route. Séance de travail avec M. K. KINTCHE, stagiaire au CRA-SH et en DEA à l'Université de Lomé. Entretien avec M. Y. YARD au SCAC Lomé. Nuit à Lomé.
12 août	U 4356 RB	Entretien avec le Prof. K. AKPAGANA, à l'Université de Lomé Lomé-Anié par route avec M. K. KINTCHE. Entretien avec M. B. BONFOH, Directeur du CRA-SH. Travail sur les documents des essais de Dapaong avec MM. K. KINTCHE et TCHAGODOMOU. Discussion avec M. AMETAPA, Chef du point d'appui d'AMOUTCHOU (Ancien Chef de point d'Appui de Dapaong). Nuit à Atakpamé.
13 août	RTG 0160 A	Anié-Dapaong par route avec MM. KINTCHE et TCHAGODOMOU. Arrêt sur point d'appui de Dalanda pour prélèvements complémentaires. Rencontre de M. BAYAKA à Niamtougou (ancien Chef de point d'appui de Dapaong). Nuit à Dapaong
14 août	RTG 0160 A	Séance de travail avec M. K. KINTCHE. Prélèvements de sols sur l'ancien point d'appui de La Fosse aux Lions avec M. WOAGOU, Chef du point d'appui de Tantigou. Nuit à Dapaong
15 août	RTG 0160 A	Visite ancien point d'appui de Toaga. Dapaong-Anié par route. Nuit à Atakpamé
16 août	U 4356 RB	Atakpamé-Lomé par route avec M. KINTCHE. Séance de travail avec M. KINTCHE. Nuit à Lomé
17 août	U 4356 RB	Séance de travail avec M. KINTCHE. Lomé-Cotonou par route

ANNEXE II : objectifs de la thèse envisagée

Le contexte : une situation de dégradation des conditions de productions

Pour faire face à la crise environnementale du réchauffement climatique et à la raréfaction du recours aux énergies fossiles, l'agriculture mondiale sera mise à contribution dans les prochaines décennies pour produire des biocarburants en plus des productions traditionnelles. Les pays ayant conservé de bonnes conditions de production agricoles seront donc économiquement favorisés. Il se repose donc avec acuité la question de la dégradation des conditions de culture en Afrique Subsaharienne et en particulier de la dégradation de la fertilité des sols.

L'introduction de la culture cotonnière dans les pays d'Afrique Francophone s'est accompagnée d'une intensification des cultures vivrières et cotonnières de la sole avec notamment l'utilisation d'amendements minéraux. Cependant, ces restitutions n'ont pas été suffisantes pour maintenir la fertilité des sols. Les bilans minéraux en certains éléments sont depuis plusieurs décennies chroniquement déficitaires et les réserves du sol en ces éléments s'épuisent. Sur les vieux bassins cotonniers du Mali et du Cameroun, des études ont montré que cette situation entraînait des pertes importantes de production en termes de quantité et de qualité et la fréquence élevée des symptômes foliaires observés dans de nombreux pays correspondant à ces déficiences minérales témoigne de l'importance et de l'étendue du phénomène. D'autres évolutions du sol telles l'acidification et la baisse du taux de matière organique du sol sont induites. Le sol s'acidifie du fait de la perte de bases (K, Ca, Mg) du complexe d'échange cationique du sol. De façon concomitante la baisse de la biomasse produite en situations de déficiences minérales induit une diminution des quantités de carbone retournées au sol (racines et résidus de la culture). Cette diminution du taux de carbone du sol affecte deux fonctions essentielles du sol : la libération d'éléments minéraux par le processus de minéralisation de la matière organique du sol et la capacité d'échange cationique du sol associée aux particules fines de carbone du sol.

L'environnement économique actuel caractérisé par la faiblesse des cours mondiaux de la fibre, des taux de change défavorables et la désorganisation de certaines filières nationales intégrées exacerbe ce problème. Les déjà trop faibles restitutions minérales ne sont plus assurées dans de nombreux cas comme celui du Togo.

Un apport de la recherche togolaise à valoriser

Les phénomènes constatés ont été mis en évidence au travers d'un réseau d'essais de longue durée au Togo et dans la sous-région. Toutefois, la valorisation de ces données n'a pas encore été complète et des synthèses nationales et régionales seraient bénéfiques. Peu d'analyses économiques ont accompagné les résultats techniques. La méconnaissance du coût de ces évolutions ne permet pas d'appréhender leur importance ni de les intégrer à leur juste valeur en tant qu'impact de politiques structurelles. Enfin, elle ne permet pas de juger de l'efficacité

économique des solutions qui peuvent être proposées, ni de se positionner sur la répartition des coûts des réhabilitations entre les différents acteurs.

Les objectifs de l'étude

L'étude, au travers du DEA et de la thèse d'un étudiant visera à :

- Hiérarchiser les phénomènes intervenant dans le processus de dégradation des sols
- Valider la méthode des bilans minéraux en tant qu'explication et prévision des évolutions constatées
- Identifier le meilleur modèle d'évolution de la matière organique des sols explicatif et prévisionnel du niveau d'équilibre des systèmes
- Etablir le coût économique d'un redressement de la fertilité des sols par l'utilisation de fumures mieux adaptées aux déficiences induites par les pratiques antérieures et le comparer à un coût de maintien de la fertilité

Les dispositifs à mettre en place

L'étude reposera essentiellement sur une synthèse des résultats des expérimentations menées au Togo avec cependant :

- Une réactualisation des caractérisations des sols des essais de longue durée en station
- Un repérage des parcelles et une réactualisation des caractérisations de sols réalisées antérieurement en milieu réel
- Des tests de fumures minérales aptes à corriger les déficiences minérales et l'acidification des sols
- Un suivi de différents systèmes de gestion des résidus de récolte auprès d'exploitations cotonnières du Togo
- L'intégration de résultats sur des dispositifs similaires obtenus dans la sous-région

Objectifs en terme de développement

Les résultats de l'étude donneront des éléments susceptibles de quantifier l'importance économique des évolutions du milieu productif. Ils permettront de juger de la pertinence des solutions alternatives proposées, de l'investissement en efforts de mise au point et de vulgarisation qu'il est logique d'y consacrer et de la répartition de ces efforts entre les différents acteurs de la filière qu'il est possible de mettre en place. Ils permettront également de prendre en compte le coût réel des politiques d'ajustement structurels qui conduisent à une aggravation de ces dégradations.

Objectifs structurels

La mise en place de cette étude s'inscrit dans les perspectives suivantes :

- Un renouvellement et un renforcement des compétences de la recherche togolaise (choix d'un jeune étudiant avec perspective de recrutement) ;

- Un renforcement des relations entre l'ITRAD et les universités du Nord et du Sud (une codirection de thèse est envisagée) ;
- Une ouverture régionale au niveau des résultats (un accueil de l'étudiant à l'IFDC de Bamako est envisagé) ;
- L'ancrage de l'ITRAD et du Togo dans les projets régionaux de développement en cours d'élaboration.

ANNEXE III : résultats d'analyses de sols des essais systèmes d'Elavagnon et soustractifs de Dalanda

No Labo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Lieu et essai		Elavagnon, essai systèmes															
Modalités		1	1	3	3	5	5	6	6	7	7	10	10	12	12	13	13
Profondeur		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
<u>Analyses physiques</u>																	
Granulométrie standard																	
Argiles	%	6.87	8.29	6.94	7.54	6.17	6.65	6.56	7.53	6.11	7.68	6.07	7.49	5.27	6.90	6.21	6.95
Limons fins	%	1.79	4.11	2.86	3.37	2.89	4.04	3.28	3.88	3.20	3.68	3.02	3.80	3.24	4.03	3.51	3.77
Limons grossiers	%	5.80	6.43	5.57	6.22	5.38	5.81	5.18	5.38	5.40	6.03	4.85	5.86	4.34	4.62	4.99	5.52
Sables fins	%	31.76	32.11	30.76	34.30	29.14	25.68	29.17	24.77	27.70	28.10	23.66	25.91	24.21	23.42	24.82	29.37
Sables grossiers	%	53.78	49.07	53.88	48.57	56.42	57.82	55.81	58.44	57.59	54.51	62.41	56.94	62.94	61.03	60.47	54.39
<u>pH - Calcimétrie</u>																	
pH eau		6.36	6.29	6.42	6.42	6.47	6.49	6.63	6.54	6.71	6.51	6.77	7.28	6.54	6.64	6.39	6.50
<u>Matière Organique</u>																	
Matière organique																	
Matière organique	%	0.83	0.74	0.93	0.67	0.83	0.66	1.11	0.79	1.15	0.74	0.81	0.99	1.07	0.74	0.91	0.67
Carbone organique	%	0.48	0.43	0.54	0.39	0.48	0.38	0.64	0.46	0.66	0.43	0.47	0.57	0.62	0.43	0.53	0.39
Azote total	‰	0.34	0.25	0.38	0.24	0.31	0.23	0.43	0.28	0.44	0.30	0.28	0.34	0.39	0.26	0.32	0.23
C/N		14.30	17.02	14.27	16.06	15.79	16.65	14.94	16.41	14.98	14.57	16.77	16.89	15.99	16.47	16.85	17.29
<u>Phosphore (exprimé en P)</u>																	
Phosphore assimilable Olsen	mg/kg	6.28	3.50	6.42	4.86	12.50	8.66	7.08	5.26	8.50	3.46	6.80	9.92	6.20	3.82	6.04	3.92
<u>Soufre (exprimé en S)</u>																	
Soufre assimilable - Extrait CaCl2	mg/kg	2.48	1.59	2.18	1.32	1.59	1.31	2.01	1.43	1.99	1.57	2.03	3.04	2.10	1.88	2.32	1.34
<u>Complexe d'échange - Acidité</u>																	
Complexe d'échange Acétate																	
Ca éch	Cmol./kg	2.64	3.55	2.92	3.25	2.71	2.76	3.31	3.25	3.20	2.99	3.88	5.72	3.28	3.03	2.87	2.86
Mg éch	Cmol./kg	0.79	0.99	0.92	1.00	0.57	0.57	0.69	0.65	0.76	0.69	0.51	0.57	0.63	0.61	0.56	0.58
K éch	Cmol./kg	0.16	0.13	0.18	0.13	0.19	0.16	0.25	0.18	0.21	0.16	0.24	0.22	0.19	0.20	0.15	0.15
Na éch	Cmol./kg	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.06	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
Somme	Cmol./kg	3.60	4.70	4.04	4.42	3.49	3.55	4.26	4.10	4.20	3.87	4.66	6.54	4.13	3.87	3.60	3.62
CEC	Cmol./kg	4.33	5.70	5.11	5.34	4.24	4.58	4.97	5.15	4.55	4.81	4.20	4.85	5.04	5.04	4.22	4.07
TS	%	83.23	82.46	79.08	82.72	82.36	77.58	85.71	79.69	92.20	80.42	> 100	> 100	81.92	76.85	85.26	89.02
Complexe d'échange (Co(NH3)6Cl3)																	
Ca éch	Cmol./kg	2.48	3.45	2.57	2.99	2.63	2.73	3.16	3.07	3.04	2.81	3.61	4.80	2.98	2.83	2.80	2.93
Mg éch	Cmol./kg	0.72	0.95	0.78	0.91	0.53	0.53	0.62	0.57	0.69	0.61	0.47	0.52	0.54	0.54	0.52	0.56
K éch	Cmol./kg	0.15	0.12	0.15	0.12	0.18	0.14	0.22	0.15	0.20	0.15	0.20	0.21	0.16	0.16	0.15	0.14
Na éch	Cmol./kg	0.01	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02
Al éch	Cmol./kg	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn éch	Cmol./kg	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.00	0.04	0.01	0.05	0.02
H éch	Cmol./kg	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S(Ca,Mg,K,Na)	Cmol./kg	3.36	4.54	3.51	4.04	3.36	3.43	4.01	3.81	3.95	3.59	4.30	5.55	3.70	3.55	3.48	3.65
CEC	Cmol./kg	4.47	5.67	4.82	4.77	4.21	4.32	5.04	4.81	4.85	4.23	5.13	5.86	4.61	4.33	4.31	4.51
TS	%	75.30	79.90	72.70	84.70	79.80	79.30	79.70	79.20	81.50	84.70	83.70	94.80	80.20	81.90	80.80	81.00
pH Co		5.39	5.47	5.63	5.53	5.64	5.71	5.88	5.71	5.97	5.67	6.52	7.48	5.81	5.89	5.62	5.61
K																	
K	g/kg	7.83	7.59	7.84	8.22	8.60	7.48	8.20	7.82	8.28	8.40	9.52	10.52	10.71	8.72	11.52	11.91
P																	
P	mg/kg	237.84	256.11	282.36	237.60	382.06	409.91	286.71	346.03	262.92	276.87	354.16	287.16	235.74	344.91	202.63	212.07

No Labo		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Lieu et essai		Dalanda, essai soustractif													
Modalités		D FF	D FF	D-P	D-P	D FV	D FV	D -N	D -N	D -S	D -S	D TEM	D TEM	D -K	D -K
Profondeur		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
<u>Analyses physiques</u>															
Granulométrie standard															
Argiles	%	3.92	6.06	3.68	4.79	3.69	5.62	3.11	5.68	3.96	7.46	3.15	3.66	3.49	5.62
Limons fins	%	3.29	0.53	2.93	3.66	3.65	3.54	3.64	3.39	3.51	3.12	3.14	3.97	3.01	3.15
Limons grossiers	%	2.54	3.78	3.28	3.46	3.21	3.16	2.81	3.00	2.89	3.17	3.01	3.15	2.93	2.76
Sables fins	%	33.10	35.17	35.14	34.86	32.05	34.26	31.00	33.99	34.86	31.12	31.38	32.96	35.06	32.63
Sables grossiers	%	57.16	54.46	54.97	53.24	57.39	53.42	59.45	53.93	54.77	55.13	59.33	56.26	55.52	55.84
<u>pH - Calcimétrie</u>															
pH eau		6.15	5.84	6.18	5.77	6.07	5.85	6.14	5.89	6.04	5.77	6.12	5.79	6.01	5.77
<u>Matière Organique</u>															
Matière organique															
Matière organique	%	0.78	0.47	0.70	0.47	0.79	0.42	0.65	0.43	0.66	0.45	0.59	0.39	0.66	0.42
Carbone organique	%	0.45	0.27	0.41	0.27	0.46	0.25	0.38	0.25	0.39	0.26	0.34	0.23	0.38	0.24
Azote total	‰	0.27	0.17	0.25	0.19	0.29	0.15	0.24	0.17	0.24	0.17	0.21	0.14	0.23	0.15
C/N		16.83	16.41	16.53	14.04	15.86	16.42	15.41	15.00	16.03	15.02	16.29	16.13	16.75	15.77
<u>Phosphore (exprimé en P)</u>															
Phosphore assimilable Olsen	mg/kg	3.58	1.94	3.56	1.90	3.54	1.32	3.04	1.36	2.94	1.22	2.48	1.42	3.46	1.74
<u>Soufre (exprimé en S)</u>															
Soufre assimilable - Extrait CaCl2	mg/kg	1.58	1.57	1.54	1.46	1.42	1.66	1.50	1.49	1.57	1.68	1.80	1.48	1.47	1.83
<u>Complexe d'échange - Acidité</u>															
Complexe d'échange Acétate															
Ca éch	Cmol _e /kg	1.19	0.78	1.22	0.75	1.35	0.84	1.14	0.68	1.14	0.78	1.13	0.69	1.19	0.70
Mg éch	Cmol _e /kg	0.25	0.17	0.24	0.17	0.23	0.17	0.24	0.18	0.23	0.23	0.22	0.20	0.20	0.18
K éch	Cmol _e /kg	0.09	0.05	0.07	0.04	0.06	0.04	0.07	0.05	0.06	0.05	0.08	0.05	0.06	0.05
Na éch	Cmol _e /kg	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Somme	Cmol _e /kg	1.55	1.01	1.54	0.97	1.66	1.07	1.47	0.93	1.44	1.08	1.45	0.94	1.46	0.93
CEC	Cmol _e /kg	2.32	1.73	1.94	2.01	2.26	1.86	2.10	1.33	1.89	1.92	1.80	1.49	1.99	1.85
TS	%	66.98	58.44	79.43	48.21	73.23	57.53	70.00	69.77	76.24	56.35	80.28	63.15	73.17	50.22
Complexe d'échange (Co(NH3)6Cl3)															
Ca éch	Cmol _e /kg	1.06	0.75	1.13	0.67	1.22	0.81	1.04	0.67	1.04	0.74	1.02	0.67	1.09	0.66
Mg éch	Cmol _e /kg	0.24	0.17	0.23	0.15	0.21	0.16	0.22	0.18	0.22	0.22	0.21	0.19	0.17	0.17
K éch	Cmol _e /kg	0.06	0.04	0.06	0.07	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04
Na éch	Cmol _e /kg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00
Al éch	Cmol _e /kg	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Mn éch	Cmol _e /kg	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02
H éch	Cmol _e /kg	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02
S(Ca,Mg,K,Na)	Cmol _e /kg	1.36	0.96	1.42	0.90	1.48	1.02	1.31	0.90	1.32	1.01	1.30	0.96	1.31	0.87
CEC	Cmol _e /kg	1.66	1.23	1.66	1.07	1.74	1.24	1.59	1.14	1.54	1.24	1.64	0.94	1.38	0.97
TS	%	81.90	78.00	85.40	83.80	85.10	81.70	82.40	78.80	85.70	81.80	79.40	102.10	94.80	89.90
pH Co		5.52	5.02	5.58	4.96	5.60	5.20	5.53	5.11	5.55	5.08	5.91	5.22	5.60	5.11
K															
	g/kg	1.07	1.23	0.97	1.18	1.09	1.29	1.02	1.26	1.06	1.35	1.03	1.24	1.01	1.24
P															
	mg/kg	100.32	85.98	95.16	84.25	99.60	82.81	92.84	83.93	109.13	85.33	88.37	80.95	95.89	85.03

No Labo		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Lieu et essai		Dalanda, essai soustractif													
Modalités		1.5 D FF	1.5 D FF	1.5 D -P	1.5 D -P	1.5 D FV	1.5 D FV	1.5 D -N	1.5 D -N	1.5 D -S	1.5 D -S	1.5 D TEM	1.5 D TEM	1.5 D -K	1.5 D -K
Profondeur		0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
<u>Analyses physiques</u>															
Granulométrie standard															
Argiles	%	2.81	5.22	2.04	6.79	3.33	5.23	3.63	5.32	2.53	5.03	3.00	5.26	2.20	4.13
Limons fins	%	4.41	3.59	3.61	3.42	2.31	3.03	2.67	2.03	3.47	3.97	2.48	3.65	2.75	3.54
Limons grossiers	%	3.02	2.03	3.61	1.98	3.27	2.49	2.64	4.34	2.32	3.49	2.01	2.82	2.80	3.62
Sables fins	%	32.48	36.23	34.51	33.84	34.63	31.77	36.78	38.49	34.04	33.45	34.58	35.30	29.83	37.61
Sables grossiers	%	57.27	52.93	56.23	53.96	56.46	57.47	54.28	49.82	57.63	54.06	57.94	52.97	62.43	51.11
<u>pH - Calcimétrie</u>															
pH eau		6.09	5.79	6.20	5.79	6.19	5.79	6.43	5.68	6.12	5.84	6.16	5.83	6.23	5.88
<u>Matière Organique</u>															
Matière organique															
Matière organique	%	0.60	0.39	0.63	0.42	0.54	0.39	0.63	0.42	0.73	0.46	0.69	0.44	0.80	0.50
Carbone organique	%	0.35	0.22	0.37	0.24	0.31	0.23	0.37	0.24	0.43	0.27	0.40	0.25	0.46	0.29
Azote total	‰	0.21	0.15	0.24	0.16	0.21	0.16	0.23	0.17	0.27	0.19	0.26	0.18	0.33	0.24
C/N		16.72	15.20	15.36	14.91	14.69	14.44	16.13	14.07	16.01	14.07	15.51	13.90	14.28	12.05
<u>Phosphore (exprimé en P)</u>															
Phosphore assimilable Olsen	mg/kg	3.58	1.72	2.78	1.72	3.20	1.82	2.64	2.36	3.96	1.90	3.06	1.68	5.38	3.18
<u>Soufre (exprimé en S)</u>															
Soufre assimilable - Extrait CaCl2	mg/kg	2.41	4.20	1.26	1.65	1.82	3.24	1.63	3.14	1.49	3.17	1.41	1.65	1.25	1.55
<u>Complexe d'échange - Acidité</u>															
Complexe d'échange Acétate															
Ca éch	Cmol _e /kg	1.09	0.67	1.09	0.68	0.91	0.59	1.06	0.71	1.28	0.82	1.22	0.82	1.49	0.92
Mg éch	Cmol _e /kg	0.18	0.14	0.21	0.17	0.17	0.16	0.21	0.16	0.27	0.19	0.20	0.17	0.25	0.17
K éch	Cmol _e /kg	0.05	0.04	0.06	0.04	0.08	0.11	0.07	0.11	0.08	0.11	0.05	0.06	0.06	0.06
Na éch	Cmol _e /kg	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
Somme	Cmol _e /kg	1.32	0.86	1.37	0.90	1.18	0.86	1.35	1.00	1.64	1.14	1.48	1.07	1.82	1.16
CEC	Cmol _e /kg	1.75	1.77	1.68	1.93	2.22	1.66	2.02	2.13	1.97	2.08	2.01	1.90	2.39	1.80
TS	%	75.37	48.59	81.73	46.68	53.15	51.87	67.03	46.90	83.45	54.76	73.53	56.16	76.07	64.17
Complexe d'échange (Co(NH3)6Cl3)															
Ca éch	Cmol _e /kg	0.98	0.76	1.00	0.67	0.87	0.54	1.02	0.75	1.14	0.80	1.13	0.78	1.34	0.90
Mg éch	Cmol _e /kg	0.16	0.15	0.19	0.17	0.17	0.14	0.20	0.17	0.25	0.19	0.18	0.16	0.24	0.16
K éch	Cmol _e /kg	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.08	0.05	0.07	0.06	0.09	0.05	0.05	0.05	0.04
Na éch	Cmol _e /kg	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Al éch	Cmol _e /kg	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Mn éch	Cmol _e /kg	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
H éch	Cmol _e /kg	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
S(Ca,Mg,K,Na)	Cmol _e /kg	1.19	0.95	1.24	0.88	1.10	0.76	1.28	0.99	1.46	1.09	1.37	1.01	1.63	1.11
CEC	Cmol _e /kg	1.33	1.01	1.30	0.94	1.20	0.83	1.41	1.13	1.57	1.19	1.50	1.12	1.76	1.18
TS	%	89.40	93.90	95.80	93.90	91.80	91.60	90.60	87.70	93.00	91.20	91.30	89.70	92.70	94.10
pH Co		5.68	5.26	5.87	5.09	5.85	5.18	5.80	5.60	6.16	5.49	6.12	5.27	6.21	5.54
K	g/kg	0.91	1.15	1.04	1.24	0.90	1.10	0.98	1.26	0.96	1.26	0.90	1.14	0.90	1.14
P	mg/kg	91.65	85.20	98.45	90.21	92.31	87.05	96.35	90.44	103.95	97.88	94.81	83.88	111.62	95.52

ANNEXE IV : détermination des densités de sol des essais systèmes d'Elavagnon et soustractif de Dalanda

Caractéristique du cylindre de prélèvement	
Rayon (cm)	2.75
Hauteur (cm)	10.50
Volume (cm ³)	249.46

Mesures des densités apparentes	Point d'appui de Dalanda, ancien essai soustractif (NPKS)							
Profondeurs	0-20 cm							
Modalités	I1	I2	I3	II1	II2	II3	Moyenne	Ecart-type
Volume prélevé (cm ³)	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	
Poids total (g)	357.2	366.5	360.0	369.3	365.8	368.9	364.6	4.5
Poids cailloux (g)	11.6	27.2	20.8	19.8	40.7	16.8	22.8	9.3
Poids terre fine (g)	345.6	339.3	339.2	349.5	325.1	352.1	341.8	8.9
Densité apparente sol total (g.cm ⁻³)	1.43	1.47	1.44	1.48	1.47	1.48	1.46	0.02
Densité apparente sol terre fine (g.cm ⁻³)	1.39	1.36	1.36	1.40	1.30	1.41	1.37	0.04

Mesures des densités apparentes	Point d'appui de Dalanda, ancien essai soustractif (NPKS)							
Profondeurs	20-40 cm							
Modalités	I1	I2	I3	II1	II2	II3	Moyenne	Ecart-type
Volume prélevé (cm ³)	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	
Poids total (g)	366.6	375.0	371.0	380.8	382.0	379.7	375.9	5.6
Poids cailloux (g)	8.1	22.3	33.5	24.6	34.0	38.9	26.9	10.1
Poids terre fine (g)	358.5	352.7	337.5	356.2	348.0	340.8	349.0	7.7
Densité apparente sol total (g.cm ⁻³)	1.47	1.50	1.49	1.53	1.53	1.52	1.51	0.02
Densité apparente sol terre fine (g.cm ⁻³)	1.44	1.41	1.35	1.43	1.40	1.37	1.40	0.03

Mesures des densités apparentes	Point d'appui de La fosse aux Lions (Dapaong), essai durées de jachère (blocs 5, 6, 7 et 8)											
Echantillons	Bloc 5		Bloc 6		Bloc 7		Bloc 8		Moyenne		Ecart-type	
Profondeurs	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Volume prélevé (cm ³)	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46	249.46		
Poids total (g)	385.0	377.0	381.5	376.9	378.5	366.0	384.0	380.6	382.3	375.1	2.5	5.5
Poids cailloux (g)	37.0	50.0	32.3	21.5	51.0	15.0	44.8	39.8	41.3	31.6	7.2	14.0
Poids terre fine (g)	348.0	327.0	349.3	355.4	327.5	351.0	339.2	340.8	341.0	343.6	8.7	10.9
Densité apparente sol total (g.cm ⁻³)	1.54	1.51	1.53	1.51	1.52	1.47	1.54	1.53	1.53	1.50	0.01	0.02
Densité apparente sol terre fine (g.cm ⁻³)	1.40	1.31	1.40	1.42	1.31	1.41	1.36	1.37	1.37	1.38	0.03	0.04

ANNEXE V : données météorologiques du Bénin années 2000-2002

Pluies mensuelles (mm)								
Postes	Bohicon				Savé			
Années	2000	2001	2002	Moyenne 2000-2002	2000	2001	2002	Moyenne 2000-2002
Janvier	0.0	0.0	49.4	16.5	3.7	0.0	20.3	8.0
Février	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	0.0	3.6
Mars	51.5	50.8	58.2	53.5	96.0	25.3	86.1	69.1
Avril	111.4	174.6	160.1	148.7	98.6	123.0	113.7	111.8
Mai	59.3	111.9	154.0	108.4	83.7	185.1	59.5	109.4
Juin	152.9	178.3	351.8	227.7	107.7	207.8	250.3	188.6
Juillet	212.1	50.6	220.0	160.9	146.3	34.6	222.1	134.3
Août	212.1	21.0	195.8	143.0	111.1	107.1	143.6	120.6
Septembre	153.3	192.5	74.1	140.0	199.7	198.1	49.7	149.2
Octobre	118.0	70.5	216.5	135.0	148.2	44.4	146.8	113.1
Novembre	0.0	11.3	27.4	12.9	0.0	4.4	1.0	1.8
Décembre	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Total année	1,070.6	862.0	1,507.3	1,146.6	995.0	940.6	1,093.1	1,009.6

Moyennes années 2000-2002 des températures moyennes journalières (°C)												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Bohicon	28.9	30.5	30.7	29.1	28.6	27.2	26.0	25.5	26.4	27.3	29.0	29.1
Savé	28.7	30.2	30.8	29.0	28.6	27.4	26.2	25.3	26.1	27.3	29.2	28.6

Moyennes mensuelles années 2000-2002	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin	
	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP
	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires
	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)
Cotonou	131.7	131.5	161.6	156.5	189.2	161.2	176.2	158.5	167.9	154.8	129.6	122.9
Bohicon	128.9	124.3	155.4	135.2	190.4	152.3	142.8	143.7	137.2	139.2	112.5	119.9
Savé	175.7	128.7	224.7	147.2	228.5	160.3	200.2	146.0	183.5	142.2	136.7	125.6
Parakou	243.4	118.5	272.9	127.4	276.5	168.8	219.3	144.1	199.3	140.3	139.0	119.7
Natitingou	236.9	141.9	257.4	150.2	274.8	165.5	221.4	166.7	205.5	155.7	152.0	129.2
Kandi	271.5	162.8	302.6	181.2	366.1	198.0	315.8	210.3	269.6	182.1	177.1	140.1

Moyennes mensuelles années 2000-2002	Juillet		Août		Septembre		Octobre		Novembre		Décembre	
	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP	Evap.	ETP
	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires	déca-daires
	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)	Bac A (mm)	Penman (mm)
Cotonou	140.8	134.8	130.0	128.9	141.6	134.8	157.0	145.6	156.0	146.7	144.2	146.7
Bohicon	93.5	111.0	82.7	105.9	99.7	113.0	113.5	126.3	130.5	131.9	139.8	130.5
Savé	110.4	111.9	88.7	102.0	100.6	111.5	127.9	123.9	165.8	129.8	181.6	128.8
Parakou	122.1	109.1	100.3	100.6	114.8	103.4	140.1	116.8	183.1	119.1	236.2	120.1
Natitingou	133.4	112.9	103.3	106.2	119.5	113.1	138.9	124.2	198.7	130.6	227.5	143.6
Kandi	138.0	121.5	118.9	115.4	140.2	123.7	175.6	136.0	234.1	148.6	272.1	160.5